

19 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
PARIS

11 N° de publication : 2 753 565  
(à n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction)

21 N° d'enregistrement national : 96 11199

51 Int Cl<sup>6</sup> : H 01 H 57/00, H 01 H 67/22, 5/30, H 02 N 2/02, G 09 F 9/30

12

## DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 13.09.96.

30 Priorité :

43 Date de la mise à disposition du public de la demande : 20.03.98 Bulletin 98/12.

56 Liste des documents cités dans le rapport de recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du présent fascicule.*

60 Références à d'autres documents nationaux apparentés :

71 Demandeur(s) : THOMSON CSF SOCIETE ANONYME — FR.

72 Inventeur(s) : GAUCHER PHILIPPE, DUBOIS JEAN CLAUDE et SPITZ RICHARD.

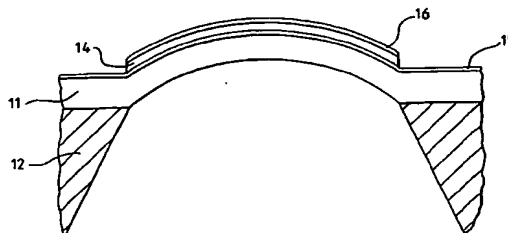
73 Titulaire(s) :

74 Mandataire : THOMSON CSF.

54 DISPOSITIF DE COMMUTATION ELECTRIQUE ET DISPOSITIF D'AFFICHAGE UTILISANT CE DISPOSITIF DE COMMUTATION.

57 L'invention concerne un dispositif de commutation comprenant une membrane en matériau ( $M_1$ ) supportée par un substrat en matériau ( $M_2$ ), le matériau ( $M_1$ ) étant contraint par rapport au matériau ( $M_2$ ) à l'interface membrane/substrat, de manière à incurver ladite membrane. Par des moyens électriques de commande type moyens piézo-électriques, la membrane peut commuter entre un état concave stable et un état convexe stable.

Application: Dispositif d'affichage.



FR 2 753 565 - A1



## DISPOSITIF DE COMMUTATION ELECTRIQUE ET DISPOSITIF D'AFFICHAGE UTILISANT CE DISPOSITIF DE COMMUTATION

Le domaine de l'invention est celui des dispositifs de commutation et notamment des dispositifs miniaturisés permettant de passer d'un état 0 à un état 1 à l'aide de signaux transitoires de faible tension.

Actuellement dans ce domaine, les techniques de micro-usinage chimique du silicium permettent de réaliser des microactionneurs électrostatiques basés sur le principe de la force de Coulomb.

$$F = q \cdot q' / 4\pi\epsilon_0 d^2$$

où  $q$  et  $q'$  sont les charges électriques que l'on fait apparaître au niveau de deux lames de silicium séparées par une épaisseur d'air ; si  $q$  et  $q'$  sont de signe opposé, la force  $F$  est attractive.

Le condensateur à lame d'air ainsi formé a une capacité

$$C = \epsilon_0 S/d$$

où  $S$  est la surface en regard qui supporte les charges  $q$  et  $q'$  avec  $q = q' = CV$  ( $V$  étant la tension appliquée audit condensateur).

La force  $F$  est liée à la tension appliquée par l'équation suivante :

$$F = \epsilon_0 S^2 V^2 / 4\pi d^4$$

Elle décroît donc très rapidement avec la distance, pour une surface et une tension données. Par exemple pour une surface  $S = 100 \times 100 \text{ mm}^2$ , une distance de commutation égale à la distance  $d$  de  $5 \text{ }\mu\text{m}$  et une tension appliquée de  $10 \text{ V}$ , on trouve une capacité de  $0,1 \text{ pF}$  et une force  $F$  de  $0,3 \text{ mN}$ .

Ces valeurs sont très faibles, c'est pourquoi les concepteurs d'actionneurs électrostatiques sont souvent obligés d'utiliser des peignes interdigités ou des dessins complexes pour augmenter la capacité du condensateur, au détriment de la fiabilité et de la robustesse.

D'autres études ont montré que l'on pouvait utiliser des couches piézoélectriques pour actionner des poutres ou des plaques en silicium de

façon beaucoup plus efficace et sur de plus grandes déformations. Le moment réparti exercé sur une poutre par une couche de matériau piézoélectrique d'épaisseur  $e$  petite devant l'épaisseur  $e_0$  de la poutre de longueur  $L$  et de module élastique  $Y$ , est donné par la formule approchée du système bilame ainsi formé :

$$M = 1/2 Y \cdot d_{31} \cdot e_0 L \cdot V$$

avec un matériau piézoélectrique du type PZT qui a un coefficient piézoélectrique  $d_{31}$  égal à 200 pC/N et un module élastique de  $4,3 \cdot 10^{11}$  N/m<sup>2</sup>, on trouve avec une tension appliquée de 10 V, une force  $F$  appliquée sur la poutre de longueur  $L$  :

$$F = M/L = 1/2 \cdot Y \cdot d_{31} \cdot e_0 \cdot V$$

soit

$$F = 4,7 \text{ m} \cdot \text{N}$$

et donc une valeur 10 fois plus importante que dans les actionneurs électrostatiques précédemment évoqués.

Cette force est de plus indépendante de la courbure de la poutre (en première approximation), donc de la distance  $d$  entre les états de commutation correspondant à un état stable sans tension appliqué et à un état excité lorsqu'une tension est appliquée au niveau du piézoélectrique.

La force de rappel (s'opposant à la force  $F = M/L$ ) exercée par la poutre en silicium, lorsqu'elle est déformée, est liée à la rigidité de flexion  $y_0$ :

$$y_0 = Y_0 \cdot C_0^3 / 12 (1 - \nu_0^2)$$

où  $\nu_0$  est le coefficient de Poisson de l'ordre de 0,42 pour la plupart des matériaux durs.

Cette force de rappel  $F'$  est définie par l'équation suivante :

$$F' = y_0 \cdot d / L^2$$

avec d distance séparant les deux états de commutation, soit encore la distance à laquelle une tension appliquée V sur le piézoélectrique est capable d'amener le système bilame comme l'illustre la figure 1. Les traits pointillés schématisent le système bilame sans tension appliquée, les traits pleins montrent le système bilame sous tension V appliquée. Le système bilame est représenté sous forme de couche unique intégrant le dispositif piézoélectrique.

Pour une distance  $d = 5 \mu\text{m}$  entre les deux états de commutation.

$F' = 5,5 \text{ mN}$  (de l'ordre de la force F).

10 il apparaît ainsi que l'on peut équilibrer le système bilame déformé et réaliser deux états de commutation séparés d'une distance de l'ordre de  $5 \mu\text{m}$  avec une tension de l'ordre de 10V.

Ce type de commutateur présente néanmoins l'inconvénient de n'être pas très stable dans l'état excité. En effet un tel système bilame a  
15 tendance à reprendre lentement sa position d'équilibre en raison de champs dépolarisant qui se forment dans le matériau piézoélectrique. On ne peut donc pas maintenir le système dans son état excité pendant une durée illimitée, en maintenant une tension continue sur la couche piézoélectrique, contrairement au commutateur électrostatique pour lequel aucun  
20 phénomène de charges d'écran n'intervient dans le diélectrique qui est de l'air.

Dans ce contexte et pour résoudre les principaux inconvénients précités, l'invention propose un dispositif de commutation utilisant une membrane dont la commutation est effectuée entre deux états stables, des  
25 moyens de commande électrique de commutation n'étant nécessaires que pour basculer d'un état à l'autre et non pour maintenir le système dans un état donné.

Plus précisément l'invention a pour objet un dispositif de commutation comprenant au moins une membrane en matériau  $M_1$ ,  
30 supportée par un substrat en matériau  $M_2$  et des moyens pour commuter électriquement ladite membrane entre un état 0 et un état 1, le dispositif étant caractérisé en ce que le matériau  $M_1$  est contraint par rapport au matériau  $M_2$  à l'interface membrane-substrat, de manière à incurver ladite membrane dans l'état 0, ou dans l'état 1, lesdits états étant stables.

Selon une variante préférentielle de l'invention, les moyens pour commuter d'un état 0 un état 1, comprennent une couche piézoélectrique déposée à la surface de la membrane, de manière à constituer un système bilame présentant deux états stables 0 et 1.

5 Le substrat peut avantageusement être en silicium la membrane peut avantageusement être en matériau contraint par rapport au silicium, de type silice ou nitrure de silicium. En effet on sait utiliser des conditions de dépôt, telles que le matériau  $M_1$  constitutif de la membrane de type silice ou nitrure de silicium puisse relaxer ses contraintes par rapport au substrat, ou  
10 jouer sur des différences de coefficient de dilatation qui introduisent des contraintes interfaciales au refroidissement.

L'invention a aussi pour objet un dispositif d'affichage associant une matrice classique type matrice à cristal liquide, dont l'état optique des pixels est commandable électriquement et une matrice de dispositifs  
15 élémentaires de commutation tels que ceux décrits précédemment.

Chaque pixel de la matrice active est en regard de l'électrode supérieure de commande du matériau piézoélectrique d'un dispositif élémentaire de commutation.

Selon une variante de dispositif d'affichage de l'invention, la  
20 matrice des dispositifs élémentaires de commutation est recouverte d'une couche diélectrique et d'un plan de masse métallique.

La présente invention sera mieux comprise et d'autre avantages apparaîtront à la lecture de la description qui va suivre, donnée à titre non limitatif et grâce aux figures annexées parmi lesquelles :

- 25 - la figure 1 illustre un dispositif de commutation selon l'art connu, utilisant un système bilame,  
- la figure 2 illustre un dispositif de commutation selon l'invention,  
- la figure 3 illustre les moyens piézo-électriques de commande  
30 d'un dispositif de commutation selon l'invention,  
- la figure 4 illustre les paramètres caractéristiques de la déformation d'une membrane pré-contrainte d'un dispositif de commutation de l'invention,  
- la figure 5 illustre une vue de dessus d'un dispositif de  
35 commutation selon l'invention, dans lequel la membrane

présente des ouvertures pour libérer partiellement la membrane du substrat,

- la figure 6 illustre l'association d'un dispositif d'affichage type matrice à cristal liquide et d'une matrice de commutateurs électriques selon l'invention, permettant d'assurer la commande dudit dispositif,
- la figure 7 illustre une vue de dessus de l'ensemble de électrodes 15<sub>ij</sub> et 16<sub>ij</sub> permettant l'adressage des commutateurs utilisés pour adresser une matrice de pixels à cristal liquide.

Le dispositif de commutation selon l'invention, comprend une membrane contrainte à être incurvée en raison de la nature des matériaux constitutifs de la membrane et du substrat qui la supporte.

Pour faire commuter la membrane d'un état stable vers un autre état stable, le dispositif comprend des moyens qui peuvent avantageusement être de type piézoélectriques, le passage d'un état stable vers un autre état stable étant réalisé dans ce cas par une simple impulsion électrique.

La figure 2 illustre un tel dispositif de commutation. Une membrane 11 en matériau M<sub>1</sub> est supportée par un substrat 12 en matériau M<sub>2</sub>. Cette membrane est représentée convexe correspondant à l'état dit 0, représentée en traits pleins et notée 11<sub>0</sub> mais par construction comme cela sera explicité ultérieurement elle peut de manière équiprobable être concave et correspondre à l'état 1 (représentée en traits pointillés et notée 11<sub>1</sub>).

La membrane comporte un dispositif piézoélectrique constitué d'une couche de matériau piézoélectrique 14 insérée entre des électrodes 15 et 16.

De préférence le dispositif piézoélectrique est de faible épaisseur devant la membrane et modifie peu le comportement du matériau M<sub>1</sub> vis-à-vis du matériau M<sub>2</sub>, comme illustré en figure 3.

Pour réaliser ce type de dispositif on utilise des technologies classiques de micro usinage silicium et de soudure ou micro-assemblage silicium-silicium ou silice-silicium. Ceci conduit à libérer une partie d'un substrat en silicium recouvert d'une couche en matériau contraint par rapport au silicium pour former une membrane reliée au substrat ladite membrane

pouvant au préalable être équipée du dispositif piézoélectrique, et ce en usinant chimiquement le substrat. Il peut s'agir d'un usinage volumique en face dite arrière (côté opposé à la couche de matériau contraint) ou d'un usinage surfacique en utilisant une couche sacrificielle intermédiaire. Après  
 5 usinage la membrane relâche ses contraintes par le phénomène de "flambage", connu en mécanique des plaques. La membrane prend alors naturellement une courbure convexe (correspondant à l'état dit 0) ou une courbure concave (correspondant à l'état dit 1).

Si  $\sigma$  est la contrainte de la couche de matériau  $M_1$ , l'allongement  $\Delta$   
 10 d de la membrane de longueur d est défini par l'équation suivante :

$$\Delta d = \sigma \cdot d / e_0$$

avec  $e_0$  l'épaisseur de la membrane  
 15 et le rayon de la courbure correspondant  $R_0$  est relié à la longueur finale de la membrane  $d_0 = d + \Delta d$

$$\Delta d / d = d_0 / 4R_0$$

20 soit encore

$$R_0 = Y_0 \cdot d_0 / 4 \sigma_0$$

Ainsi pour une pré-contrainte de 1 GPa, une membrane en nitrure  
 25 de silicium de module élastique de 20 GPa et de longueur  $d = 100 \mu\text{m}$ , conduit à un rayon de courbure  $R_0 = 0,5 \text{ mm}$ .

La figure 4 illustre la courbure de la membrane 11 en présence de pré-contraintes ainsi que les différents paramètres d,  $d_0$ ,  $R_0$  et  $h_0$  :  $2 h_0$  étant représentatif de l'écart entre l'état convexe 0 et l'état concave 1.

30 On peut encore écrire  $h_0 = d_0^2 / 4R_0 = d_0 \sigma_0 / Y_0$  ce qui fournit une valeur  $h_0$  de  $5 \mu\text{m}$ .

Lorsque la membrane est dans un état 0 ou 1, on la fait commuter dans l'autre état respectivement 1 ou 0, en appliquant une tension V sur la couche de matériau piézoélectrique. Il suffit pour cela de créer à l'interface  
 35 membrane/substrat une contrainte  $\sigma$  qui annule la contrainte initiale  $\sigma_0$ .

Par l'effet piézoélectrique, on sait électriquement introduire une contrainte de cisaillement  $\sigma$  liée à la variation de polarisation  $\Delta P$  dans le matériau piézoélectrique avec  $\sigma = \Delta P / d_{31}$

$d_{31}$  étant un coefficient piézoélectrique du matériau, ou encore :

5

$$\Delta P = \chi \cdot \Delta F = (1 + \epsilon_0 \epsilon) V / e \simeq \epsilon_0 \epsilon V / e$$

$e$  étant l'épaisseur de la couche de matériau piézoélectrique on obtient ainsi avec :

10

$$e = 0,5 \mu\text{m}$$

$$\epsilon = 1\,000$$

$$\epsilon_0 = 8,8 \text{ pF/m}$$

$$d_{31} = 200 \text{ pC/N}$$

une tension  $V$  nécessaire, égale à 10 V.

On est ainsi en mesure de faire passer la membrane d'un premier état stable 0 à un deuxième état stable 1, grâce à une tension de l'ordre d'une dizaine de volts.

Il est à noter que lorsque la membrane a été commutée dans son second état stable, il n'est plus nécessaire d'appliquer de tension. Dans un tel dispositif de commutation, les effets de relaxation rencontrés dans l'art antérieur, n'interviennent plus il suffit d'alimenter le dispositif piézoélectrique, uniquement au moment de la commutation. Il s'agit donc d'un dispositif consommant peu d'énergie.

#### Exemple de réalisation

A partir d'un substrat de silicium (1,0,0), on crée sur les deux faces une couche de silice thermique par recuit à 950° C en présence de vapeur d'eau ou à 1 050° C sous oxygène sec.

Par microlithographie, on grave avec de l'acide HF ou un plasma réactif, toute la silice de la face avant et une partie de celle de la face arrière permettant de réaliser un masque rectangulaire utilisé ultérieurement pour l'usinage chimique ou électronique du silicium.

On dépose sur la face avant une couche de silice  $\text{SiO}_2$  ou de nitrure de silicium  $\text{Si}_3\text{N}_4$ , fortement contrainte, par exemple par PE - CVD (dépôt par voie chimique assisté par plasma) à basse température comprise entre 300 et 600° C. Puis on grave cette couche localement de manière à former un motif sur la face avant permettant à la future membrane d'être

35



moins contrainte par rapport au substrat. Les ouvertures ainsi réalisées 17 et 18 sont illustrées en figure 5.

On dépose une électrode inférieure 15 pour le dispositif piézoélectrique, par exemple en platine, et ce à travers un masque en résine que l'on enlève ensuite par des procédés classiques de microlithographie.

On procède au dépôt de la couche de matériau piézoélectrique 14 par centrifugation ou toute autre technique de dépôt en couches minces, d'une couche de PZT (Titano-zirconate de plomb), que l'on grave ensuite avec de l'acide type HF dilué (en ayant protégé le face arrière avec de la résine).

On cristallise et densifie le PZT par recuit rapide à une température comprise entre 600 et 700° C pendant un temps court, de l'ordre de 2 minutes, de telle façon que la contrainte de la couche sous-jacente ne puisse pas se relaxer.

On dépose enfin une électrode supérieure 16 analogue à l'électrode inférieure.

Une vue de dessus du commutateur ainsi obtenu est illustré en figure 5.

Pour définir la partie membrane, on usine le silicium avec de la potasse ou toute autre solution couramment utilisée qui possède la propriété de ne pas attaquer la silice.

La membrane en silice est ainsi libérée, pour se détendre et prendre la forme courbe illustrée en figure 2, (forme concave ou convexe), entraînant avec elle le condensateur piézoélectrique précédemment formé.

L'exemple de réalisation a été décrit pour un dispositif de commutation comprenant une membrane.

Selon une autre variante de l'invention, le dispositif de commutation comprend une matrice de commutateurs élémentaires, réalisés de manière collective en utilisant toutes les étapes de procédé décrites ci-dessus à l'aide de masques de microlithographie adaptés.

Ce type de matrice de commutateurs peut avantageusement être utilisée en visualisation en étant couplée à un dispositif d'affichage, type matrice à cristal liquide, écran à plasma, diodes électroluminescentes...

La figure 6 illustre un exemple de dispositif d'affichage utilisant un dispositif de commutation selon l'invention.

Le dispositif d'affichage comprend une matrice de pixels  $PXL_{ij}$ , comportant une électrode commune 19 dite électrode supérieure, chaque pixel comportant également une électrode 20 $_{ij}$  dite inférieure.

Le dispositif de commutation comprend des membranes  
5 élémentaires 11 $_{ij}$  supportées par un substrat. Chaque membrane 11 $_{ij}$  est recouverte d'une électrode 15 $_{ij}$ , dite électrode inférieure, d'une couche de matériau piézoélectrique 14 $_{ij}$  et d'une électrode dite supérieure 16 $_{ij}$ . Pour assurer une bonne connexion électrique entre le dispositif matriciel de  
10 commutation et le dispositif d'affichage (ici représenté une matrice à cristal liquide) on peut élaborer un plan de masse PM. Pour cela une couche de matériau diélectrique est déposée sur l'ensemble des éléments piézoélectriques et une électrode constitutive du plan de masse est déposée  
15 à la surface de cette couche. Lorsqu'une impulsion de tension est envoyée sur tel ou tel élément piézoélectrique, la membrane associée change d'incurvation et connecte ou déconnecte électriquement le plan de masse au pixel cristal liquide  $PXL_{ij}$  associé comme illustré en figure 6. Tant qu'une  
nouvelle impulsion n'est pas initiée au niveau d'une membrane élémentaire, l'état d'adressage du pixel associé reste inchangé.

La figure 7 illustre une vue de dessus de l'ensemble des  
20 électrodes inférieures 15 $_{ij}$  et supérieures 16 $_{ij}$  situées de part et d'autre des couches piézoélectriques.

L'adressage desdites couches piézoélectriques et par là-même des pixels cristal liquide, peut se faire suivant la règle bien connue des -1/3, 2/3 en tension. Seul le pixel recevant la tension  $V$  sera excité pour basculer  
25 dans un état opposé, les autres pixels ne recevant pas assez de tension pour que la contrainte générée atteigne la valeur de la contrainte  $\sigma_0$  précédemment évoquée.

## REVENDICATIONS

1. Dispositif de commutation comprenant au moins une membrane en matériau ( $M_1$ ) supportée par un substrat en matériau ( $M_2$ ) et des moyens pour commuter électriquement ladite membrane entre un état (0) et un état (1), caractérisé en ce que le matériau ( $M_1$ ) est contraint par rapport au matériau ( $M_2$ ) à l'interface membrane substrat, de manière à incurver ladite membrane dans l'état (0), ou dans l'état (1), lesdits états étant stables.

2. Dispositif de commutation selon la revendication 1, caractérisé en ce que les moyens pour commuter d'un état (0) à un état (1), comprennent une électrode inférieure (15) déposée sur la membrane, une couche de matériau piézoélectrique (14) sur l'électrode (15) et une électrode supérieure (16) sur ladite couche (14).

3. Dispositif de commutation selon l'une des revendications 1 ou 2, caractérisé en ce que le substrat est en silicium.

4. Dispositif de commutation selon la revendication 3, caractérisé en ce que la membrane est en silice.

5. Dispositif de commutation selon la revendication 3, caractérisé en ce que la membrane est en nitrure de silicium.

6. Dispositif d'affichage comprenant une matrice de pixel ( $Px_{ij}$ ) dont l'état optique est commandable électriquement, caractérisé en ce qu'il comprend une matrice de dispositifs élémentaires de commutation selon l'une des revendications 2 à 5, chaque pixel ( $Px_{ij}$ ) étant en regard de l'électrode supérieure ( $16_{ij}$ ) d'un dispositif de commutation de manière à rentrer en contact avec ledit pixel ( $Px_{ij}$ ) lorsque la membrane ( $11_{ij}$ ) associée est dans l'un de ses deux états stables (0) ou (1).

7. Dispositif d'affichage selon la revendication 6, caractérisé en ce que la matrice de dispositifs élémentaires de commutation est recouverte d'une couche diélectrique et d'un plan de masse métallique (PM) assurant le contact électrique de ladite matrice avec la matrice de pixels.

1/3

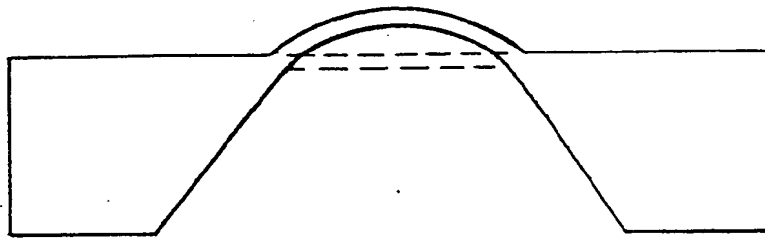


FIG. 1

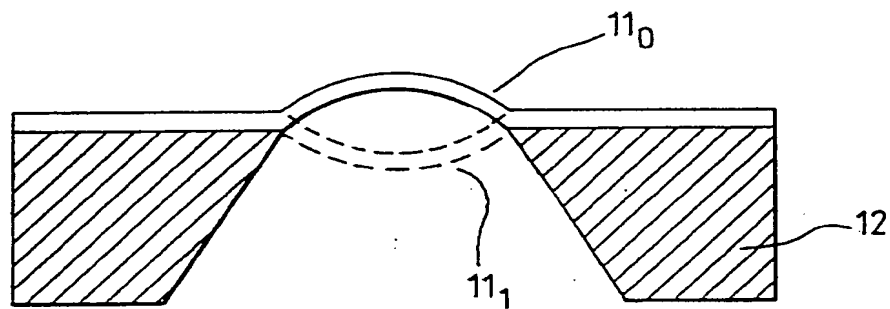


FIG. 2

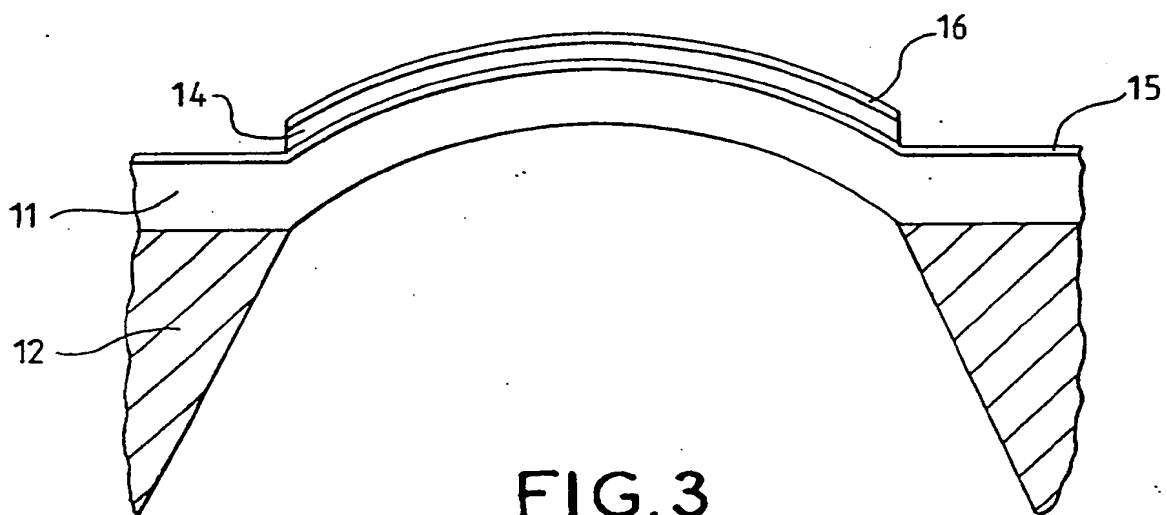


FIG. 3

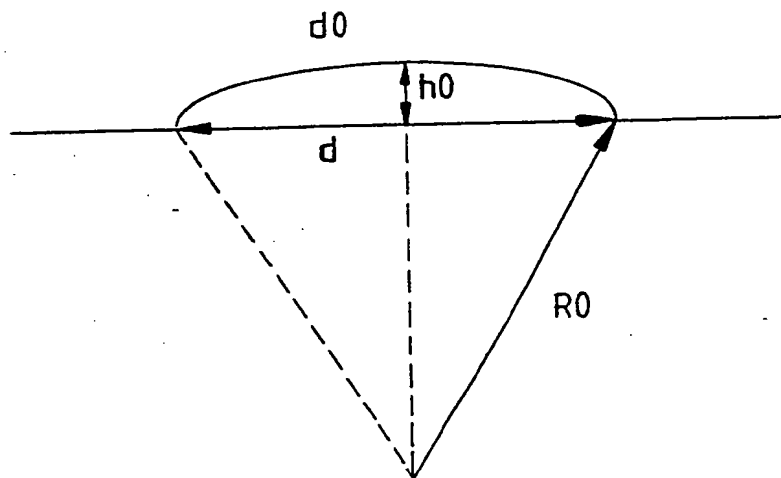


FIG. 4

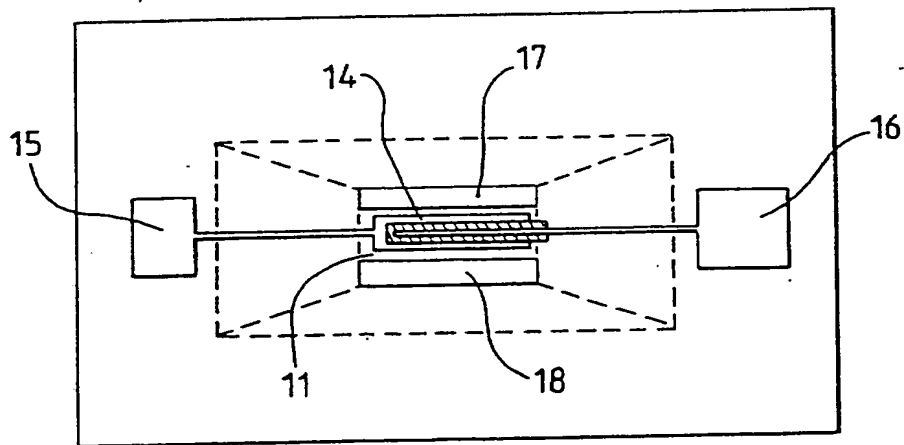


FIG. 5

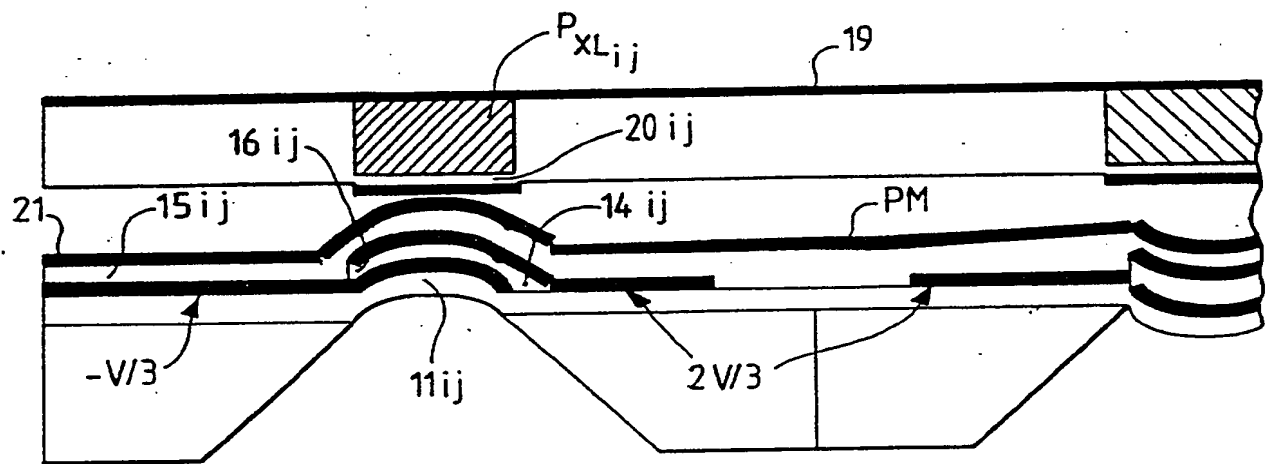


FIG. 6

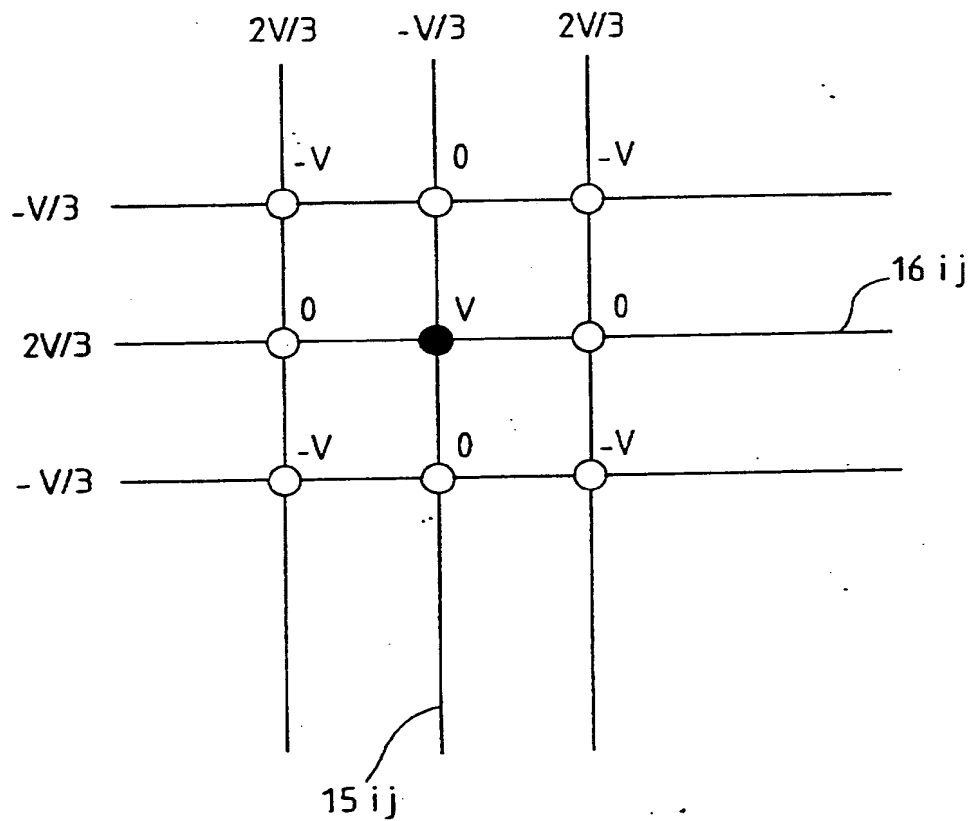


FIG. 7

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		Revendications concernées de la demande examinée
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	
X	GB 2 215 914 A (EMI PLC THORN) 27 Septembre 1989 * page 8, ligne 13 - page 11, ligne 16 *	1,3-5
Y	---	2,6
X	IBM TECHNICAL DISCLOSURE BULLETIN, vol. 20, no. 12, 1 Mai 1978, NEW YORK US, page 5309 XP002032162 PETERSEN K. E. : "Bistable micromechanical storage element in silicon" * le document en entier *	1,3,4
Y	---	2,6
Y	DE 44 44 070 C (FRAUNHOFER GES FORSCHUNG) 8 Août 1996 * page 3, ligne 30 - ligne 45 *	2
Y	DE 38 33 158 A (SIEMENS AG) 12 Avril 1990 * abrégé *	2
Y	EP 0 071 287 A (PHILIPS NV) 9 Février 1983 * page 8, ligne 26 - page 10, ligne 30 * -----	6
		DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int.CL.6)
		H01H
Date d'achèvement de la recherche		Examineur
3 Juin 1997		Libberecht, L
<b>CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES</b> X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : pertinent à l'encontre d'au moins une revendication ou arrière-plan technologique général O : divulgation non-écrite P : document intercalaire T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons ----- & : membre de la même famille, document correspondant		

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**